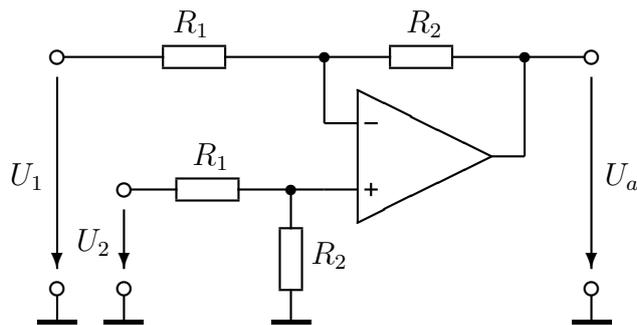


## BEISPIEL 6.1: Differenzverstärker

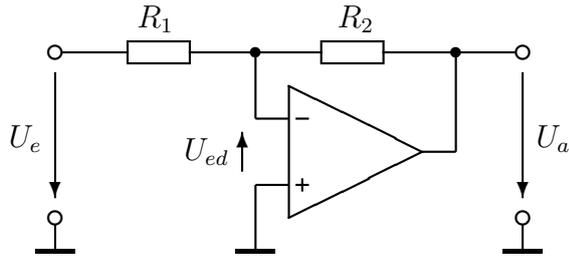


Widerstandswerte:  $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$   
 $R_2 = 100 \text{ k}\Omega$   
Offsetspannung:  $-6 \text{ mV} < U_{\text{ed}0} < 6 \text{ mV}$   
Biasstrom:  $-500 \text{ nA} < I_{\text{e}0} < 0$   
Offsetstrom:  $|I_{\text{ed}0}| < 200 \text{ nA}$

Die Schaltung stellt einen Differenzverstärker dar, der im Gegensatz zum gewöhnlichen, mit Hilfe von zwei Transistoren gebildeten Differenzverstärker einen weiten linearen Bereich und einen niedrigen Ausgangswiderstand hat.

- Ermitteln Sie die Abhängigkeit der Ausgangsspannung von den Eingangsspannungen  $U_a(U_1, U_2)$ .
- Wie groß ist die Schwankungsbreite  $\Delta U_a$  der Ausgangsspannung zufolge der Offsetspannung?
- Wie groß ist die Schwankungsbreite  $\Delta U_a$  der Ausgangsspannung zufolge des Bias- bzw. Offsetstroms?

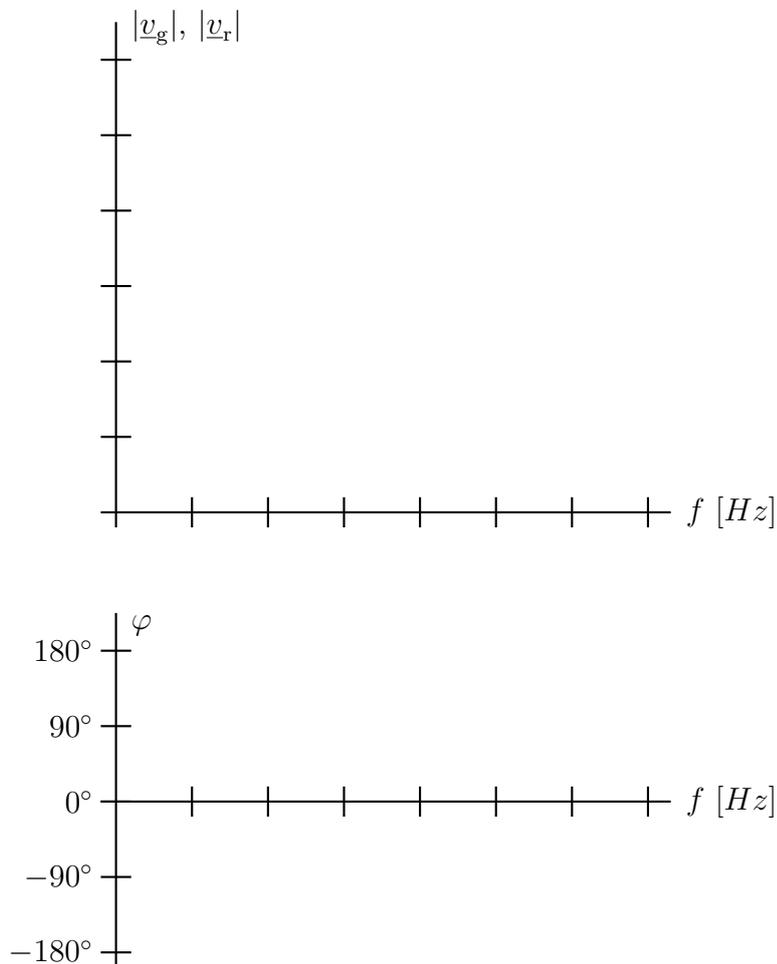
## BEISPIEL 6.2: Hochfrequenzeigenschaften des Summierverstärkers



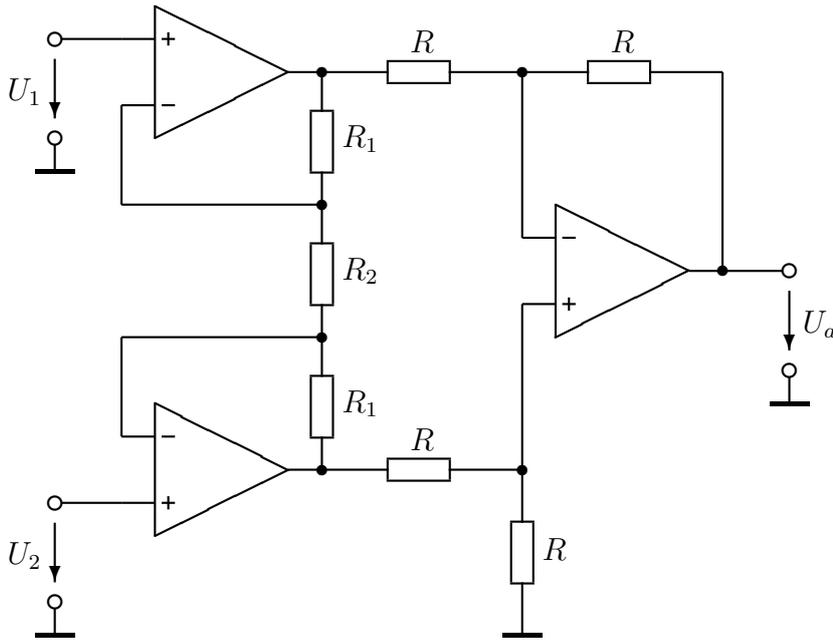
Widerstandswerte:  $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$   
 $R_2 = 10 \text{ k}\Omega$

Geradeausverstärkung:  $v_g^0 = 200\,000$   
 $f_{gg} = 10 \text{ Hz}$

- Zeichnen Sie das Bodediagramm der Geradeausverstärkung  $v_g$  des Operationsverstärkers und bestimmen Sie die Transitfrequenz  $f_T$ .
- Bestimmen Sie die Grenzfrequenz  $f_{gr}$  der rückgekoppelten Verstärkung  $v_r = u_a/u_e$ .
- Zeichnen Sie das Bodediagramm der rückgekoppelten Verstärkung  $v_r$ .



### BEISPIEL 6.3: Instrumentierverstärker



Widerstandswerte:

$$R_1 = 100 \text{ k}\Omega$$

$$R_2 = 1 \text{ k}\Omega$$

Offsetspannung:

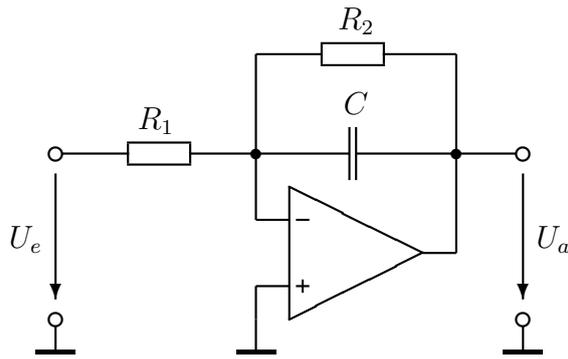
$$-6 \text{ mV} < U_{\text{ed}0} < 6 \text{ mV}$$

Alle Operationsverstärker haben dieselbe Offsetspannung innerhalb des Streubereichs.

Die Schaltung ist wie die Schaltung aus Beispiel 6.1 ein Differenzverstärker, jedoch mit einem hohen Eingangswiderstand und geringerer Empfindlichkeit gegenüber der Offsetspannung.

- Ermitteln Sie die Abhängigkeit der Ausgangsspannung von den Eingangsspannungen  $U_a(U_1, U_2)$ .
- Wie groß ist die Schwankungsbreite  $\Delta U_a$  der Ausgangsspannung zufolge der Offsetspannung?

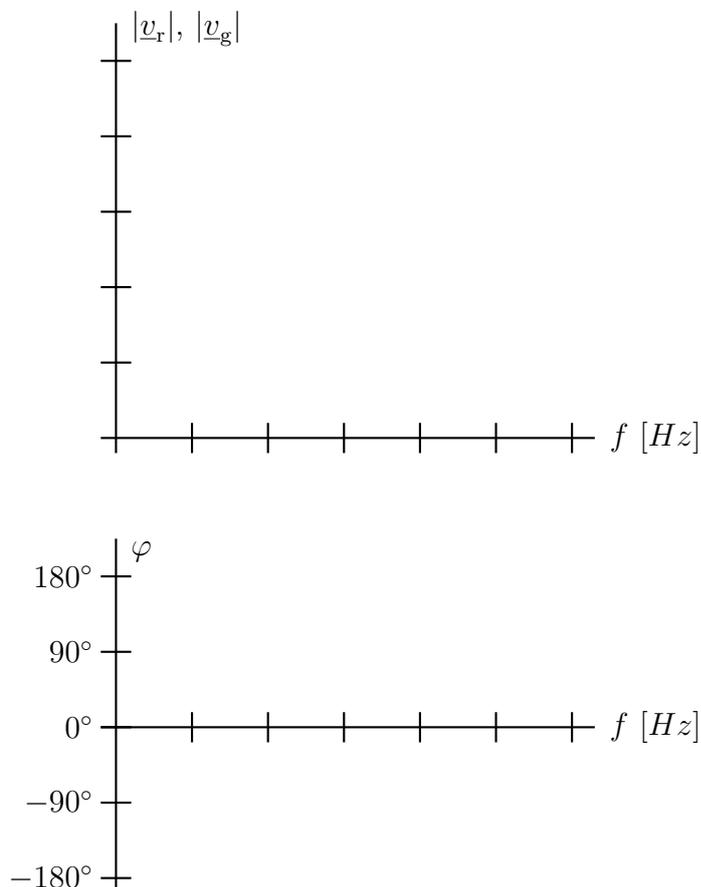
## BEISPIEL 6.4: Integrator



Widerstandswert:	$R_1 = 1 \text{ k}\Omega$
Kapazitätswert:	$C = 10 \text{ nF}$
Offsetspannung:	$-6 \text{ mV} < U_{\text{ed0}} < 6 \text{ mV}$
Biasstrom:	$-500 \text{ nA} < I_{\text{e0}} < 0$
Geradeausverstärkung:	$v_g^0 = 100\,000$
	$f_{\text{gg}} = 10 \text{ Hz}$

In den Punkten (a) bis (c) werde der Widerstand  $R_2$  weggelassen (Unterbrechung).

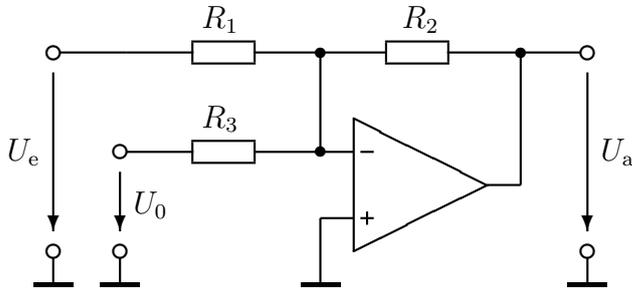
- Ermitteln Sie die Zusammenhang zwischen Eingangs- und Ausgangsspannung  $U_a(U_e)$ .
- In welcher Zeit steigt im ungünstigsten Fall der Betrag der Ausgangsspannung  $|U_a|$  bei kurzgeschlossenem Eingang ( $U_e = 0 \text{ V}$ ) infolge der Offsetspannung von  $0 \text{ V}$  auf  $10 \text{ V}$  an
- Wie (b), jedoch infolge des Biasstroms.
- Wie groß muss der Widerstand  $R_2$  gewählt werden, damit der Betrag der Ausgangsspannung  $|U_a|$  bei  $U_e = 0 \text{ V}$  im ungünstigsten Fall auf  $0,5 \text{ V}$  ansteigen kann? Berücksichtigen Sie sowohl den Einfluss der Offsetspannung als auch des Biasstroms.
- Zeichnen Sie für diesen Wert von  $R_2$  das Bodediagramm der rückgekoppelten Verstärkung  $v_r$  und zum Vergleich jenes der Geradeausverstärkung  $v_g$ .



## BEISPIEL 6.5: Nullpunktverschiebung

Dimensionieren Sie in den folgenden Schaltungen die nicht gegebenen Bauelementwerte so, dass die Ausgangsspannung  $U_a$  den Bereich  $[0 \text{ V} \dots 10 \text{ V}]$  überstreicht, wenn die Eingangsspannung im Bereich  $[-2 \text{ V} \dots +2 \text{ V}]$  variiert:

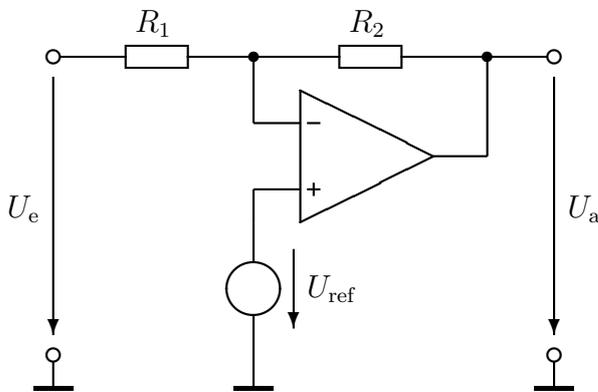
(a)



Gegeben:  $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$   
 $U_0 = -10 \text{ V}$

Gesucht:  $R_2, R_3$

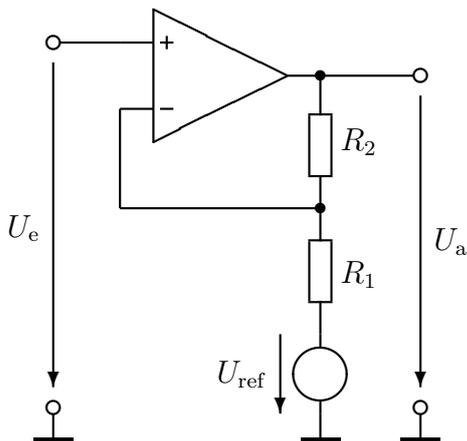
(b)



Gegeben:  $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$

Gesucht:  $R_2, U_{\text{ref}}$

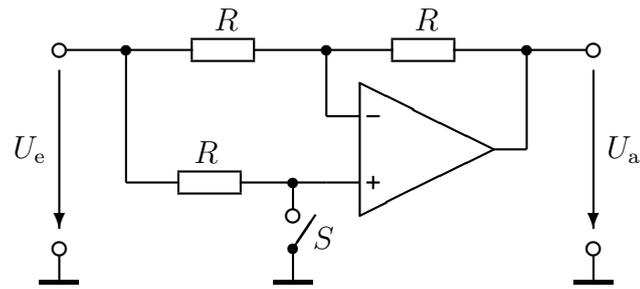
(c)



Gegeben:  $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$

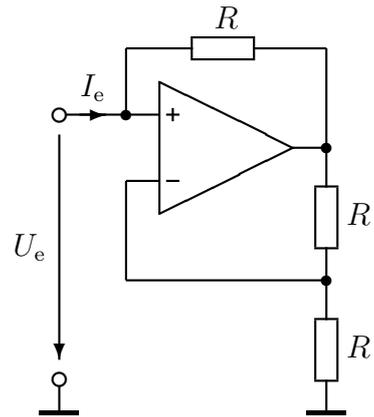
Gesucht:  $R_2, U_{\text{ref}}$

### BEISPIEL 6.6: Verstärker mit umschaltbarer Funktion



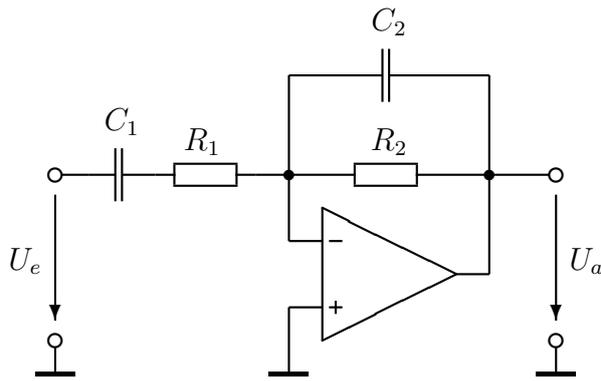
Bestimmen Sie den Zusammenhang zwischen Eingangs- und Ausgangsspannung  $U_a(U_e)$  bei geöffnetem bzw. geschlossenem Schalter.

## BEISPIEL 6.7: Negativer Widerstand



Bestimmen Sie den Eingangswiderstand der Schaltung als Funktion des Widerstandswertes  $R$ .

## BEISPIEL 6.8: Aktiver Bandpass



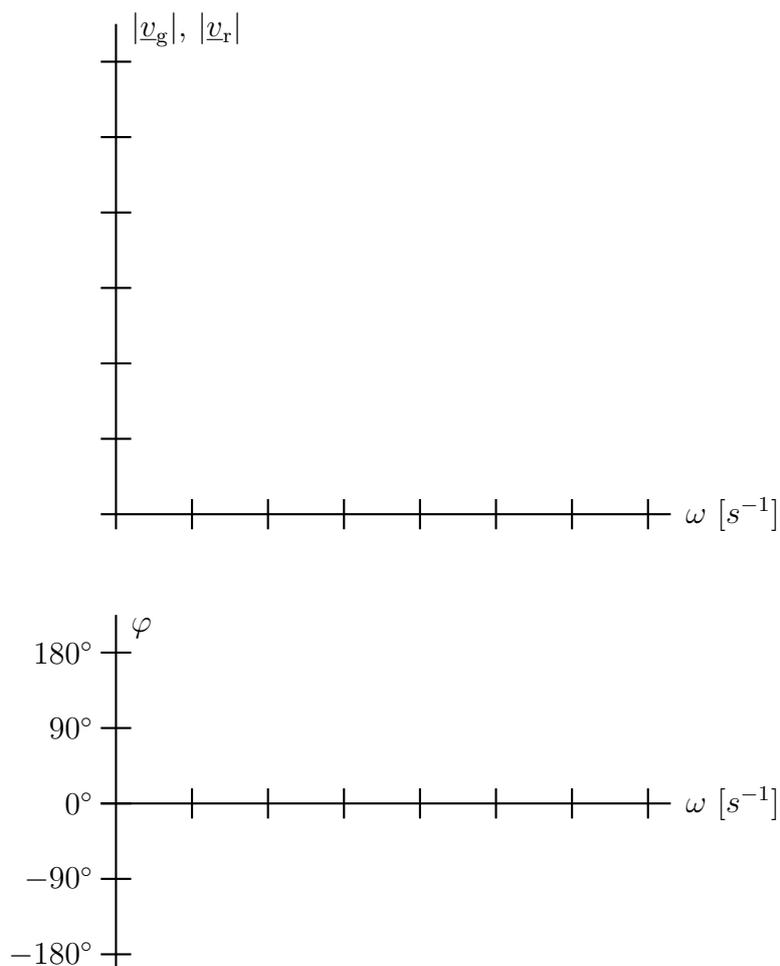
Widerstandswerte:  $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$   
 $R_2 = 10 \text{ k}\Omega$

Kapazitätswerte:  $C_1 = 100 \text{ nF}$   
 $C_2 = 1 \text{ nF}$

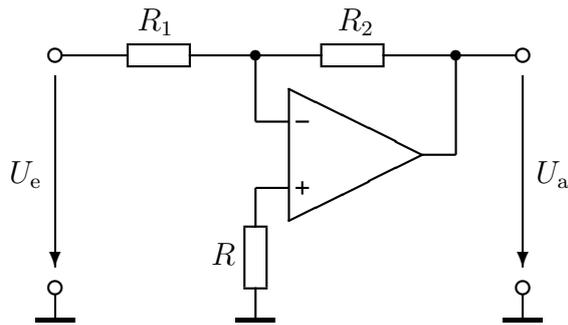
Geradeausverstärkung:  $v_g^0 = 100\,000$   
 $f_T = 5 \text{ MHz}$

Gegenüber einem passiven Bandpass hat dieser Bandpass den Vorteil, dass das Ausgangssignal gegenüber dem Eingangssignal verstärkt sein kann und dass er einen niedrigen Ausgangswiderstand hat.

- Schreiben Sie die komplexe Verstärkung  $\underline{v}_r = \underline{U}_a / \underline{U}_e$  als Funktion der Kreisfrequenz  $\omega$  an.
- Zeichnen Sie das Bodediagramm von  $\underline{v}_r$  und zum Vergleich dazu jenes der Geradeausverstärkung  $\underline{v}_g$ .



## BEISPIEL 6.9: Biasstrom-Kompensation



Widerstandswerte:  $R_1 = 2 \text{ k}\Omega$   
 $R_2 = 100 \text{ k}\Omega$

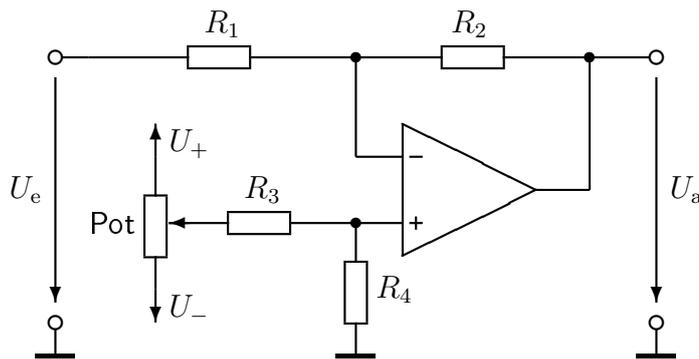
Biasstrom:  $-500 \text{ nA} < I_{e0} < 0$

Offsetstrom:  $|I_{ed0}| < 200 \text{ nA}$

Eingangsspannung:  $U_e = 100 \text{ mV}$

- In welchem Bereich liegt die Ausgangsspannung  $U_a$  für  $R = 0$  unter Berücksichtigung des Biasstromes und Vernachlässigung des Offsetstromes.
- Wie muss der Widerstand  $R$  gewählt werden, damit die Ausgangsspannung  $U_a$  nicht mehr vom Biasstrom abhängt? Lassen Sie den Offsetstrom weiterhin außer Acht.
- In welchem Bereich liegt die Ausgangsspannung  $U_a$  unter Berücksichtigung des Offsetstromes  $I_{ed0}$ , wenn der Widerstand  $R$  den in (b) bestimmten Wert hat?

## BEISPIEL 6.10: Offsetspannungs-Kompensation



Versorgungsspannung:  $U_+ = 5 \text{ V}$   
 $U_- = -5 \text{ V}$

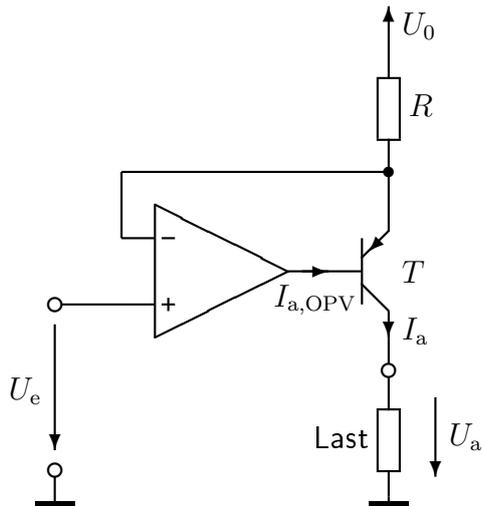
Biasstrom:  $-500 \text{ nA} < I_{e0} < 0$

Offsetspannung:  $-6 \text{ mV} < U_{ed0} < 6 \text{ mV}$

Widerstandswerte:  $R_1 = 2,7 \text{ k}\Omega$   
 $R_2 = 270 \text{ k}\Omega$   
 $R_{\text{pot}} = 10 \text{ k}\Omega$

- (a) Berechnen Sie die Spannungsverstärkung  $v_r = u_a/u_e$  bei idealem Operationsverstärker und Mittenstellung des Potentiometers.
- (b) Dimensionieren Sie  $R_3$  und  $R_4$  so, dass die Offsetspannung  $U_{ed0}$  korrigiert werden kann.  $R_3$  und  $R_4$  sollen möglichst hochohmig sein, der Einfluss des Eingangsstromes  $I_{e0+}$  des nichtinvertierenden Eingangs auf die Ausgangsspannung  $U_a$  soll aber nicht stärker als 1% des Einflusses der Offsetspannung  $U_{ed0}$  sein.

## BEISPIEL 6.11: Steuerbare Stromquelle



Transistor:

$$B = 60$$

$$U_f = 0,7 \text{ V}$$

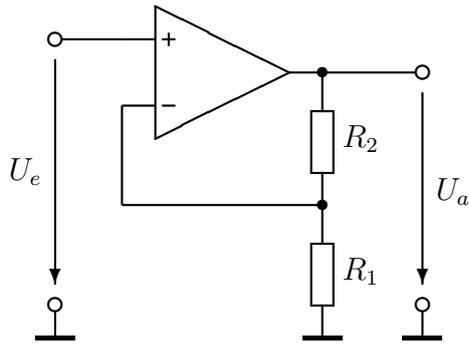
$$U_{\text{ECsat}} = 0,2 \text{ V}$$

Operationsverstärker:

$$|I_{a,\text{OPV}}| < 25 \text{ mA}$$

- Welchen Ausgangsstrom  $I_{a,\text{max}}$  kann man der Stromquelle maximal entnehmen?
- Dimensionieren Sie den Widerstand  $R$  so, dass sich beim maximalen Ausgangsstrom Ausgangsspannungen bis zu 2 V unter der Versorgungsspannung einstellen lassen.
- Bestimmen Sie den Zusammenhang zwischen Stromquellenstrom  $I_a$  und Steuerspannung  $U_e$ .

## BEISPIEL 6.12: Hochfrequenzverhalten des Elektrometerverstäkers



Widerstandswerte:  $R_1 = 200 \Omega$

$R_2 = 2 \text{ k}\Omega$

Geradeausverstärkung:  $v_g^0 = 100\,000$

$f_T = 1,17 \text{ MHz}$

- Zeichnen Sie das Bodediagramm der Geradeausverstärkung  $\underline{v}_g$  des Operationsverstärkers und bestimmen Sie die Transitfrequenz  $f_T$ .
- Bestimmen Sie die Grenzfrequenz  $f_{gr}$  der rückgekoppelten Verstärkung  $\underline{v}_r = \underline{u}_a / \underline{u}_e$ .
- Zeichnen Sie das Bodediagramm der rückgekoppelten Verstärkung  $\underline{v}_r$ .

